

基于地球物理综合方法的生产型金属矿山深部找矿技术应用研究

韩光照

嵩县前河矿业有限责任公司, 河南 洛阳 471400

摘要: 鉴于浅部矿产资源不断枯竭情形, 深部找矿成为保障金属矿山资源供给的核心路径, 地球物理综合方法凭借信息覆盖较宽、经济成本不高、施工操作便利等明显利好, 在生产型金属矿山深部找矿项目里得到大量运用, 本文从电法、磁法、地震法等多物理场方法协同实施应用切入分析, 研究其面对复杂地质条件时的适配特性与目标辨认能力, 综合解析各类地球物理方法技术特征及联合运用策略要领, 还结合实际工程案例给出优化实施办法, 研究试图为深部找矿工作给予条理清晰、效能高、精准度好的技术支撑, 增进找矿成功率及矿产资源利用效率。

关键词: 地球物理方法; 深部找矿; 金属矿山; 物探集成; 资源探测

0 引言

我国工业发展进程当中, 金属矿山的地位十分关键, 但随着开采深度不断延展, 传统找矿技术渐显探测深度受限、精度欠佳等弊病, 地球物理方法借由非破坏性探测及大范围覆盖的独特长处, 成为深部找矿的关键技术途径, 本文从生产型矿山深部资源勘查实际需求出发, 以多种地球物理手段的融合应用为聚焦点, 通过对其在深部找矿时的实际应用效果加以分析, 探究方法改良、数据整合与效果增进的具体途径, 为打造高效、有序的深部找矿技术体系提供理论基石与技术支撑力量。

1 地球物理综合方法体系概述

1.1 电法勘探技术及其深部应用

于地球物理方法而言, 电法勘探是应用普及性最强的技术类型, 其核心原理采用测量地层介质电性差异的方式来识别地下异常体, 就深部找矿的具体场景而言, 高密度电法及激电法的采用特别频繁, 二者借由电阻率与极化率的变动属性, 可有力定位深部矿体、电性异常带及构造边界所在方位, 激电法对含金属矿体的响应十分灵敏, 在硫化物大量富集区域往往呈现明显正异常现象, 鉴于深部地层有信号微弱、噪声干扰突出的现象, 近年以来高功率发射装置与多通道同步接收系统开始启用, 极大提升电法数据的稳定程度与分辨能力; 借助三维反演算法的引入, 实现电性异常体空间分布的立体表达, 为深部找矿提供可直观呈现的数据支持。

1.2 磁法与重力法协同技术

磁法勘探鉴于矿体与围岩磁化率的差异完成目标确认, 应用于铁矿、铜矿等磁性矿物富集的矿山类型, 开展深部找矿工作时, 隐伏矿体定位与构造追踪工作里, 全梯度磁测、航空磁测和地面高精度磁测技术被大量采用, 重力法利用各地质体间密度差异体现地下物质的分布态势, 可敏锐识别深部因断裂带、沉积界面及大型矿体引发的密度异常情况, 磁法与重力法体现出高度的互补态势: 磁法反应展现出高敏感度, 然而方向性极为明显, 重力法对大型地质体定位准确, 只是分辨率的表现有限, 二者协同采用, 能打破单一方法识别的既定限制, 还可统筹架构多维度地质模样。

1.3 地震波方法与勘查精度提升

地震波方法于深部构造识别及矿体定位意义重大, 其凭借记录地下地震波的传播特征实现地质结构与物性分布的还原, 跟电法、磁法比起来, 地震勘探彰显出更强悍的空间分辨水平与层间界面识别能耐, 在

精准勾勒断裂、褶皱带以及隐伏矿体边界时优势明显，诸如反射波地震、折射波法和地震层析成像之类的技术，能按照波速变动捕捉地质体之间的特性差别，辅助断定成矿通道与矿体的空间延展走向，伴随高性能地震仪器应用的增多与高密度采集技术推广的深入，地震资料在信噪比与处理能力上实现大幅增进，融合先进的速度建模跟波阻抗反演算法，地震方法不只是具备揭示深部地质结构的能力。

2 多物理场集成技术及联合反演

2.1 数据集成平台与数据标准

开展深部找矿事宜时，各类地球物理方法产出的数据类型呈现出明显的差异状态，涉及电阻率、磁异常、重力梯度、地震波速等若干维度，这些数据在空间分布情况、分辨水平以及敏感参数上各存差别，实现多物理场信息高效集成，设立统一的数据集成平台为核心环节要点，平台应具备数据格式的标准化处理、坐标系统统一校准、数据同步运算及空间精准对接等功能，让不同物探方法获取的成果在同一地理框架中完成对比分析与融合运算，靠着地理信息系统（GIS）和三维地学建模软件的技术飞跃，集成平台可对电、磁、重、震等多源数据予以多维可视化的呈现处理，利于技术人员直观辨识空间异常体并搭建矿体边界空间模型，必须制定一致的数据采集与处理规程，厘清采样频率要求、数据精度规格、处理流程细节及质量评价办法。

2.2 联合反演技术的发展与应用

联合反演身为多物理场融合的核心技术途径，可以把电法、磁法、重力法以及地震法等不同方法敏感参数进行耦合式建模，实现信息互充、增强约束要素、提升解释的精度值，传统单一物探方法往往会受到分辨率差、定位不准确等方面的限制，联合反演借助构建一个多源数据协同优化的模型，在使各方法特征响应留存的态势里，着实提高地质异常体成像质量水平，就目前而言，主流的联合反演方法有协同正则化反演、结构耦合反演以及属性约束反演等形式，以数学模型为桥梁，这些方法把不同物理场反演结果关联，可在深部复杂地质条件当中完成高分辨率图像重建，当落实到实际应用层面，实施激电法与地震波阻抗约束的结合操作，可提升硫化物矿体识别成效；磁法、重力法反演实施协同建模，可加强构造识别空间上的匹配性，因为这些反演方法对算法稳定性以及计算效率的要求甚高，大多会结合并行计算以及机器学习模型开展加速处理，联合反演技术的普遍应用，切实增强找矿的精准水平与速率，渐成深部找矿关键支撑技术。

2.3 多尺度信息融合策略

当进行地质找矿相关工作，不同物探方法获得的数据，其空间分辨率以及测量尺度各有不同，范围自厘米级起至公里级止，为彻底把握深部矿体相关资料，得形成多尺度信息融合的有效策略，达成区域普查、详查、精查各阶段之间的平滑衔接，多尺度融合技术能把航空物探、地面物探和井下测量的结果做空间融合处理，同时顾及大尺度的构造展布以及小尺度的异常细情，把航空磁法获取的宏观异常轮廓跟地面激电法得到的高分辨率数据加以叠加分析，可精准标定富矿地带；井下地球物理探测手段，以地震 VSP（垂直地震剖面）或者电阻率成像为例，可实现对局部矿体结构的精细勾勒刻画，助力钻探布孔及采样工作开展，在融合策略层面，重点为协调各尺度数据处理的精确水平与表达途径。

3 地球物理方法在典型矿山的应用分析

3.1 铜矿区深部找矿案例研究

在一处规模较大的铜矿区，伴随地表矿体资源趋向枯竭，保障资源供给，关键任务是深部找矿，该区域地质构造错综纠缠，矿体多坐落于断裂带与岩体相接触处，具备典型隐伏与多期叠加的成矿特性，勘查团队聚合运用激电法、高密度电阻率法以及三维地震成像技术开展深部探测行动，激电法借助其对硫化物的高敏感度，识别出多个中强极化状况的异常区域带段，该走向与已知矿体高度契合；高密度电阻率法进

一步剖析低阻异常区空间形貌，弄清楚潜在成矿带深度的分布状态；三维地震资料精准锁定断裂系统的延伸方向以及矿体边界的轮廓，实施多方法数据综合化分析，恰当安排验证钻孔设置，顺利勘得一处理深超 600 米的新型矿藏，铜品位稳定可实现开采利用，各类物探技术协同实施，搭配高精度数据处理及反演建模行动，是达成深部找矿进展的核心办法。

3.2 铅锌矿带多方法叠加应用

某铅锌矿带成矿受地层、构造和多阶段地质活动联合制约，矿体形态繁复多变，多隐于地层内部抑或破碎带间，传统地质方法无法精准圈定深部矿体，为推动找矿效率增长，勘查团队创立了磁法、激电法、电磁法以及井中地球物理技术相结合的综合探测模式，一开始借助磁法迅速描绘区域构造的格架形态，无误识别断裂以及岩体的边界；随后借助激电法实施中浅层极化异常扫描，借助电磁法探明深部导电体的空间布局；在选定的重点靶区，采用井中激电测量与地震 VSP 技术，精确勾勒矿体三维模样，依靠多源数据叠加开展分析，创建一体化地质 - 物探说明模式，标定多个潜在的富矿靶标区域，经后续钻探验证可知，模型预测范围跟实际富矿位置达到高度契合，极大增进找矿成功率，给铅锌矿深部勘查给出可照搬的技术范式。

3.3 铁矿区断裂识别与富矿定位

在一处凸显典型特性的磁铁矿场地，区域性断裂以及褶皱构造把控着矿体，垂向的延展深度甚巨，富矿体多表现为透镜状、脉状分布格局，找矿的困难程度极高，项目团队借助重力法、磁法以及地震层析成像作为核心技术途径，把重点放在断裂系统鉴别与深部富矿测度上，采用航磁及地面磁测进行联合探究，找出主要磁异常区域，限定富磁体潜在分布的大概区域；以重力测量辅助开展密度异常的分析工作，勘定隐伏岩体与断裂的交汇点位；利用地震层析成像技术，探知地下速度变化特征，精准勾勒出断裂系统走向跟深部延伸形态，完成多源数据建模与结构反演相关工作，生成断裂与矿体叠加在一起的三维可视影像，探得多处深部存在富磁异常体，对关键异常区域开展钻探验证，顺利探获一个埋深超 800 米的大型富矿矿体，矿石品位、厚度皆在预期标准之上。

4 深部找矿技术优化路径与发展趋势

4.1 高精度探测装备技术升级

伴随找矿深度不断拓展，地球物理探测设备碰到深部高阻环境、强干扰之类挑战，旧有装备已不易实现高质量数据采集需求，为符合深部找矿新规格，探测装备技术升级核心体现为三个维度层面：信号发射系统向高功率、宽频带的走向变迁，增强地层响应信号强度量级，增强深部探测穿透实力；数据采集设备加速从模拟往数字化、高密度的转化，运用多通道并行采集加上实时滤波工艺，大幅增进数据信噪比跟采样的精准度；传感器及测量装置向着小型、集成、智能方向前行，好比 MEMS 惯性校准仪、高灵敏磁力分析仪等新型监测装备，切实增强复杂地形及井下作业的灵活度与稳定性。

4.2 智能算法与模型预测融合

当人工智能技术引入，地球物理找矿模式出现革命性的变化，传统找矿数据处理过分倚重专家经验，呈现主观性明显、多源数据融合效率不足等现象，地球物理数据处理全流程普遍可见机器学习、深度学习及智能反演算法的应用，诸如支持向量机（SVM）、卷积神经网络（CNN）、随机森林（RF）这类算法，能从海量多物理场数据中自主提取特征模式，达成对成矿异常的智能辨认，借助历史找矿数据与区域地质模型打造的智能找矿预测平台，能针对矿体空间分布形势、赋存形态模样和成矿类型进行概率模型搭建与精确位置查找，在实施反演的时段，智能算法凭借约束优化以及参数自动校正达成，显著增强模型稳固性及反演的精度，随着计算效能的提升与算法的不断优化，未来智能地球物理系统将完成从“辅助决策”到“自主剖析”的跃升，拉动深部找矿从以经验为驱动到以数据智能为驱动的全面变迁。

4.3 找矿过程中的绿色勘查理念

绿色勘查已成为现代矿业进步的必然潮流，在深部找矿作业进程里，在守护生态环境的大前提下怎样做到高效探矿，属于当前技术演进需攻克的阻碍，地球物理方法借助非接触、可重复利用以及覆盖区域宽的特质，成为绿色勘查技术的首选，装备工艺这一维度，要普及低能耗、低冲击的探测装置，降低对地表植被及地貌的破坏程度；施工组织这一范畴，重点采用无人机空中测量、远程操控平台与井中测量技术，弱化人员作业强度，降低对环境的依赖水平，添加全生命周期管理理念，让环境影响评估在找矿各阶段均有体现，从选址工作、线路规划、施工进行到数据采集与现场清撤，皆践行最小干扰的行事准则，技术评价时把绿色指数、能耗的具体指标与碳排放核算纳入，开展针对找矿行为的量化监管行动，绿色勘查对企业社会责任形象的提升有积极作用，还可实现经济效益、生态环境保护与资源永续利用的有效融合，构成深部找矿可持续发展的核心引导。

5 结语

鉴于浅部矿产资源日益稀缺之情形，深部找矿成为推动金属矿山持续发展的关键突破口，地球物理综合方法借助其无侵入性、高效探查与广泛覆盖的突出长处，在深部资源勘查里起到无可取代的效用，多物理场技术聚合应用、联合反演方法创新尝试及智能算法深度融汇，极大增强找矿精准水平，有效扩大了成矿预测的空间范畴，充分落实绿色勘查理念，给出协调资源开发和生态保护矛盾的有效途径，连贯推进技术突破与方法优化升级，创建智能化且绿色化的深部找矿新型体系，将成为拉动矿业高质量腾飞的主要动力。

参考文献

- [1]丁晨戈. 基于 MEMS 磁传感器阵列的金属目标探测技术研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2024.
- [2]冷欣芸. 基于改进的平衡计分卡对有色金属企业经营绩效分析研究[D]. 云南财经大学, 2023.
- [3]贾亚莉. 金属成形企业数字化转型研究[D]. 北京邮电大学, 2023.
- [4]秦超. 有色金属行业生产型企业研发经费管理存在的问题及改进措施[J]. 有色矿冶, 2022, 38(06): 64-66.
- [5]周源娜, 魏云梅, 廖芩, 等. 氨基改性生物炭强化吸附去除废水中金属络合氰[J/OL]. 环境工程学报, 1-14[2025-07-02].